

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-097908

(43)Date of publication of application : 14.04.1998

(51)Int.Cl.

H01F 1/08
C22C 19/07
C22C 38/00
H01F 1/053

(21)Application number : 09-266144

(71)Applicant : HITACHI METALS LTD

(22)Date of filing : 30.09.1997

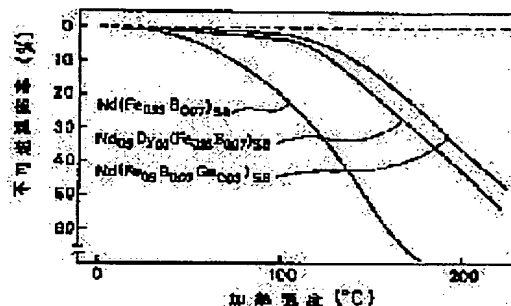
(72)Inventor : ENDO MINORU
TOKUNAGA MASAOKI
KOGURE HIROSHI

(54) SINTERED PERMANENT MAGNET WITH EXCELLENT HEAT STABILITY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To remarkably improve IH_c and provide a sintered permanent magnet with highly excellent heat stability by providing a magnet wherein the major phase is formed of $R_2Fe_{14}B$ type inter-metal compound, intrinsic coercive force (IH_c) increases and Curie temperature (T_c) slightly reduces by Ga content, and the contained Ga forms a liquid phase with a rare earth rich phase which surrounds the major phase in sintering.

SOLUTION: A magnet is expressed by the following formula R by atomic ratio; $R(Fe_{1-x-y-z-u}Co_xB_yGa_zM_u)A$ (R is a combination of at least one of Nd, Pr, Ce and other rare earth elements, and M is a combination of at least one of Nb, W, V, Ta and Mo, $0 < x \leq 0.7$, $0.02 \leq y \leq 0.3$, $0 < z \leq 0.15$, $0 \leq u \leq 0.1$, $4.0 \leq A \leq 7.5$), the major phase is $R_2Fe_{14}B$ type inter-metal compound, and intrinsic coercive force (IH_c) is increased and Curie temperature (T_c) is reduced by Ga content. The Ga contained at sintering forms a liquid phase with a rare earth rich phase and the magnet is sintered.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.09.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 08.02.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3255593

[Date of registration] 30.11.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2000-03234

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 09.03.2000

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-97908

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月14日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 F 1/08

H 0 1 F 1/08

B

C 2 2 C 19/07

C 2 2 C 19/07

E

38/00

3 0 3

38/00

3 0 3 D

H 0 1 F 1/053

H 0 1 F 1/04

H

審査請求 有 発明の数 1 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平9-266144

(62) 分割の表示

特願昭62-183881の分割

(22) 出願日

昭和62年(1987) 7月23日

(71) 出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都千代田区丸の内 2 丁目 1 番 2 号

(72) 発明者 遠藤 実

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社磁性材料研究所内

(72) 発明者 徳永 雅亮

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社磁性材料研究所内

(72) 発明者 小暮 浩

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式
会社熊谷工場内

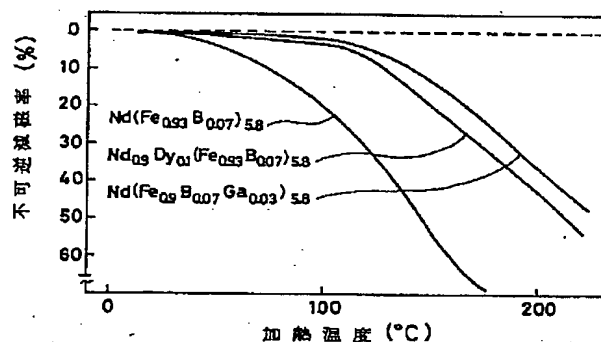
(54) 【発明の名称】 熱安定性の良好な焼結型永久磁石

(57) 【要約】

【課題】 主相が $R_2Fe_{14}B$ 型金属間化合物であり、

Ga の含有により固有保磁力 (I H c) が増大しキュリー温度 (T c) がやや低下する作用を有し、含有される Ga が焼結時において主相を取り囲む希土類リッチ相とともに液相を形成して焼結されることによって i H c を著しく高め、極めて良好な熱安定性を付与した焼結型永久磁石を提供する。

【解決手段】 原子比で式 $R(Fe_{1-x-y-z-u}Co_xByGa_zMu)_A$ (ここで R は Nd, Pr, Ce その他の希土類元素の 1 種以上の組み合わせ、M は Nb, W, V, Ta, Mo の 1 種以上の組み合わせ、 $0 < x \leq 0.7$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.3$ 、 $0 < z \leq 0.15$ 、 $0 \leq u \leq 0.1$ 、 $4.0 \leq A \leq 7.5$) で表され、主相が $R_2Fe_{14}B$ 型金属間化合物であり、Ga の含有により固有保磁力 (I H c) が増大しキュリー温度 (T c) が低下する作用を有し、焼結時において含有される Ga が希土類リッチ相とともに液相を形成し焼結されたことを特徴とする熱安定性の良好な焼結型永久磁石。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 原子比で式 $R(Fe_{1-x-y-z-u}Co_xByGa_zMu)_A$ （ここでRはNd, Pr, Ceその他の希土類元素の1種または2種以上の組み合わせ、MはNb, W, V, Ta, Moの1種または2種以上の組み合わせ、 $0 < x \leq 0.7$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.3$ 、 $0 < z \leq 0.15$ 、 $0 \leq u \leq 0.1$ 、 $4.0 \leq A \leq 7.5$ ）で表され、主相が $R_2Fe_{14}B$ 型金属間化合物であり、Gaの含有により固有保磁力（ I_{Hc} ）が増大しキュリー点（ T_c ）が低下する作用を有し、焼結過程において含有されるGaが希土類リッチ相とともに液相を形成し焼結されてなることを特徴とする熱安定性の良好な焼結型永久磁石。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、主相が $R_2Fe_{14}B$ 型金属間化合物であり、Gaの含有により固有保磁力（ I_{Hc} ）が増大しキュリー点（ T_c ）が低下する作用を有し、含有されるGaが焼結過程においてリッチ相とともに液相を形成し焼結されてなることにより I_{Hc} を著しく高め、極めて良好な熱安定性を付与した焼結型永久磁石に関する。

【0002】

【従来の技術】 $R-Fe-B$ 系永久磁石材料は、 $R-Co$ 系永久磁石材料よりも高い磁気特性が得られる新しい組成系として開発が進んでおり、数多くの発明が提案されている。例えばNd₁₅Fe₇₇B₈〔組成式表示でNd（Fe_{0.91}B_{0.09}）_{5.67}〕は最大磁気エネルギー積（ BH ）_{max}が35MG0e、固有保磁力 I_{Hc} が10K0eに達する磁気特性を得ている（J. Appl. Phys. 55(6)2083(1984)参照。）

しかしながら、開発初期に提案された $R-Fe-B$ 系永久磁石はキュリー点（ T_c ）が低く、そのため熱安定性が悪いという欠点がある。すなわち、従来の $R-Co$ 系の永久磁石では約800℃の T_c を有するのに対し、開発初期に提案された $R-Fe-B$ 系永久磁石材料では通常 T_c が約300℃程度であり、最高でも370℃程度と極めて低い（特開昭59-46008号公報参照）。従って、熱安定性が不十分であって、周囲温度が高い環境下での使用には難点があった。それを解決する手段としては、直接 T_c を向上させること、室温における固有保磁力（ I_{Hc} ）を十分高くすることによって高温での減磁分があっても耐えられるようにすることの2つが知られている。

【0003】前者として、Feの一部をCoで置換することによって T_c を上げる試みがなされた。その結果、 T_c を400℃以上で、磁気特性を犠牲にすれば800℃にまでも上昇させる効果が認められた（特開昭59-64733号公報参照）。後者として、Al, Ti, V, Cr, Mn, Zn, Hf, Nb, Ta, Mo, Ge, Sb, Sn, Bi, Ni等の添加が行われてきた。中でもAlは I_{Hc}

向上に特に有効とされる（特開昭59-89401号、60-77960号公報参照）。さらにTb, Dy, Hoのような重希土類元素によるNdの一部置換が高い最大エネルギー積〔（ BH ）_{max}〕を保持しつつ I_{Hc} を改善するために提案されており、約30MG0eの（ BH ）_{max}のとき I_{Hc} が9K0e程度のものが12~18K0eに増大される（特開昭60-32306, 60-34005号公報参照）。加えて、CoとAlの複合添加が熱安定性向上の手段として提案されている。すなわち、Feの一部をCoで置換すると T_c は向上するが、反面 I_{Hc} の低下が否めない。それは、Nd（Fe, Co）₂で表わされる磁性を持った析出物が結晶粒界に現われ逆磁区が発生して I_{Hc} を低下するためと考えられている。そこで、CoにAlを複合添加することによって非磁性のNd（Fe, Co, Al）₂で表わされる相を出現させることによって逆磁区を発生させない試みも行われている（Appl. Phys. Lett. 48(19), 1309(1986)）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前述の従来技術には次に述べる問題点がある。

①CoによるFeの一部置換の場合

結晶磁気異方性を低下させるため I_{Hc} を低下する。また、原料面からコスト高、供給不安がある。

②Al, Ti, V, Ni等を添加する場合

Niを除いて非磁性材料であるため、多量の添加は残留磁束密度 $4\pi I_r$ の低下を招来し、（ BH ）_{max}を下げる。Niも、強磁性材料ではあるが磁気モーメントが小さいため、結局 $4\pi I_r$ を低下する。

③重希土類元素を添加する場合

非常に高価であるためコストの著しい上昇を伴う。資源的希少性に加えて永久磁石以外の用途が少ないためである。

④CoとAlを複合添加する場合

Alの添加は T_c を著しく低下させるため、100℃以上における高温での熱安定性に劣る。加えて、CoとAlを複合添加した $R-Fe-B$ 系磁石の I_{Hc} は、たかだか12K0e程度にすぎない。

【0005】従って、本発明の課題は、主相が $R_2Fe_{14}B$ 型金属間化合物であり、Gaの含有により固有保磁力（ I_{Hc} ）が増大しキュリー温度（ T_c ）が低下する作用を有し、含有されるGaが焼結時において主相を取り囲む希土類リッチ相とともに液相を形成して焼結されることによって I_{Hc} を著しく高め、極めて良好な熱安定性を付与した焼結型永久磁石を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記従来の課題を解決した本発明は、原子比で式 $R(Fe_{1-x-y-z-u}Co_xByGa_zMu)_A$ （ここでRはNd, Pr, Ceその他の希土類元素の1種または2種以上の組み合わせ、MはNb, W, V, Ta, Moの1種または2種以上の組み合わ

3

せ、 $0 < x \leq 0.7$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.3$ 、 $0 < z \leq 0.15$ 、 $0 \leq u \leq 0.1$ 、 $4.0 \leq A \leq 7.5$)で表され、主相が $R_2Fe_{14}B$ 型金属間化合物であり、Gaの含有により固有保磁力(IHc)が増大しキュリー点(Tc)が低下する作用を有し、焼結過程において含有されるGaが主相を取り囲む希土類リッチ相とともに液相を形成し焼結されてなることを特徴とする熱安定性の良好な焼結型永久磁石である。上記、本発明磁石において、 $0 < x \leq 0.7$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.3$ 、 $0.001 \leq z \leq 0.15$ 、 $0 \leq u \leq 0.1$ 、 $4.0 \leq A \leq 7.5$ とすることが熱安定性の点からより好ましい。また、 $0 < x \leq 0.39$ 、 $0.03 \leq y \leq 0.2$ 、 $0.002 \leq z \leq 0.1$ 、 $0.002 \leq u \leq 0.04$ 、 $4.5 \leq A \leq 7$ とすることが熱安定性の向上の点から特に好ましい。また、RがNdでu=0の場合、 $0 < x \leq 0.39$ 、 $0.03 \leq y \leq 0.2$ 、 $0.002 \leq z \leq 0.1$ 、 $4.5 \leq A \leq 7$ とすることが良好な熱安定性を得るために好ましい。

【0007】希土類元素RはNd, Pr, Ceその他の希土類元素であって、特にNdを主体としてPr, Ceのような軽希土類元素またはDyのような重希土類元素で一部置換できる。なお、Ho, Tbなどの重希土類元素も利用できる。

Ndの一部をPrで置換する場合には原子比率で98%を越えると $4\pi Ir$ が低下し、Ndの一部をCeで置換する場合には、原子比率で30%を越えると $4\pi Ir$ が低下する。Ndの一部をDyで置換する場合には原子比率で3%未満ではIHc向上効果すなわち熱安定性がなく、5%以上25%以下の置換によって最も好ましい効果があるが、40%を越える置換は $4\pi Ir$ を低下するため好ましくない。

【0008】本発明において、硼素Bの含有量yが0.02未満だとTcが低くなり、かつ十分な保磁力が得られない。他方、yが0.3を超えると $4\pi Is$ が低下し、磁気特性に悪影響を及ぼす相が出現する。従って、yは0.02~0.3であり、より好ましくは0.03~0.2、最も好ましくは0.04~0.15である。

【0009】本発明において、Gaの添加はIHc向上に顕著な効果がある。この効果はR-Fe-B系磁石の主相(金属間化合物 $Nd_2Fe_{14}B$ 等。)を取り囲むRリッチ相と密接に関係があると考えられる。

Gaの含有量zは良好な熱安定性を確保するために $0 < z \leq 0.15$ とするのがよく、 $0.001 \leq z \leq 0.15$ とするのがより好ましく、 $0.002 \leq z \leq 0.10$ とするのがさらに好ましく、 $0.005 \leq z \leq 0.05$ とすることが特に好ましい。Gaの含有量zが0.15を超えると飽和磁化 $4\pi Is$ とTcの著しい減少を呈し好ましくない。

【0010】本発明において、Coは必須であり、Tc向上効果があるためGaと複合添加することによって熱安定性の際だった向上に効果がある。xで示されるCo

4

の含有量が0.7を超えると磁石の $4\pi Ir$ 、IHcが低下して好ましくない。IHcと $4\pi Ir$ およびTcの良好な均衡のためのCoの好ましい上限は0.39であり、最も好ましくは0.25である。

【0011】本発明磁石には、添加元素M: Nb, W, V, Ta, Moを結晶粒の粗大化防止のために添加することができる。なかでも、NbとWの効果が最も優れている。

Nbの添加は $4\pi Ir$ を若干低下するが、Gaほど $4\pi Ir$ を低下させない。また、Nbは耐蝕性向上にも効果があるため、比較的高温にさらされる高耐熱永久磁石にとって非常に有効な元素である。原子比で式 $R(Fe_{1-x-y-z-u}Co_xByGazMu)_A$ (ここでRは希土類元素の1種または2種以上の組み合わせ、MはNb, W, V, Ta, Moの1種または2種以上の組み合わせ、 $0 < x \leq 0.7$ 、 $0.02 \leq y \leq 0.3$ 、 $0 < z \leq 0.15$ 、 $0 \leq u \leq 0.1$ 、 $4.0 \leq A \leq 7.5$)で表され、MがNbであり含有量uが0.001未満のときはIHcの十分な向上効果が得られず、また、十分な耐蝕性を示さない。他方、0.1を超えると $4\pi Ir$ とTcの好ましくない減少を招来する。Nbのより好ましい範囲は0.002~0.04である。Wの添加も熱安定性を著しく向上する。uで示されるWの量が0.1を超えると、 $4\pi Is$ およびIHcが著しく低下する。そして、0.001未満のときはIHcの十分な向上効果が得られない。より好ましい範囲は0.002~0.04である。V, Ta, Moの添加も有効であり、uが0.001未満のときには十分なIHc向上効果が得られず、0.1を超えると $4\pi Is$ が著しく減少する。より好ましい範囲は0.002~0.04である。

【0012】本発明において、Aが4未満のときは $4\pi Is$ が低く、7.5を超えるとFeとCoリッチな相が出現し、保磁力を著しく低下させる。従って、Aは4~7.5であり、より好ましくは4.5~7、最も好ましくは5.0~6.8である。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、実施例により本発明を説明する。

【0014】(実施例1) Nd($Fe_{0.70}Co_{0.2}B_{0.07}Mo_{0.03}$)_{6.5}(ただし、M=B, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Ga, Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, In, Sb, Wのいずれか1種)なる組成の合金をアーク溶解にて作製した。得られたインゴットをスタンプミルおよびディスクミルで粗粉碎した。粉碎媒体としてN₂ガスを用いジェットミルで微粉碎を行い粉碎粒度 $3.5\mu m$ (FSSS)の微粉碎粉を得た。得られた原料粉を15K0eの磁場中で横磁場成形(プレス方向と磁場方向が直交)した。成形圧力は $2t/cm^2$ であった。本成形体を真空中で $1090^\circ C \times 2$ 時間焼結した。熱処理は $500 \sim 900^\circ C$ に1時間加熱保持した後、急冷した。

得られた結果を表1に示す。検討した19元素の中で1 Hcが10K0eを超えるものはGaだけである。このようにGaは保磁力の向上に非常に有効である。表1において、本発明に属するM=Ga添加の場合のTc=468℃に対し、M=B添加のもののTc=477℃であり、*

*Gaの含有によってTcがやや低下する作用を有していることがわかる。

【0015】

【表1】

Nd (Fe_{0.7} Co_{0.2} B_{0.07} M_{0.03})_{0.5} 磁石の磁気特性

M	B	Al	Si	P	Ti	V	Cr	Mn	Ni	Cu
4πIs (KG)	13.31	12.61	12.80	12.90	12.77	13.19	12.30	12.50	12.95	12.57
4πIr (KG)	12.80	12.45	12.65	0	11.80	13.05	12.15	12.34	12.78	12.32
iHc (KOe)	2.6	8.5	7.0	0	4.8	4.9	5.1	5.3	4.1	3.0
(BH) _{max} (MGOe)	13	33.5	32.0	0	24.0	25.5	28.0	24.0	13.1	18.1
Tc (°C)	477	460	458	482	467	470	478	431	485	481

Tc:キュリー点

M	Ga	Ge	Zr	Nb	Mo	Ag	In	Sb	W
4πIs (KG)	12.60	12.72	12.30	13.03	13.10	13.22	12.70	12.05	12.95
4πIr (KG)	12.50	~0	10.5	12.9	~0	~0	~0	~0	12.75
iHc (KOe)	16.0	~0	4.3	6.9	~0	~0	~0	~0	6.0
(BH) _{max} (MGOe)	35.0	~0	12.1	35.1	~0	~0	~0	~0	32.2
Tc (°C)	468	479	466	477	465	483	488	482	476

【0016】(実施例2) Nd (Fe_{0.9-x} Co_x B_{0.07} Ga_{0.03})_{0.5} (x=0~0.75) および比較例としてNd (Fe_{0.93-x} Co_x B_{0.07})_{0.5} (x=0~0.25)、Nd_{0.9} Dy_{0.1} (Fe_{0.93-x} Co_x B_{0.07})_{0.5} (x=0~0.25) なる組成の合金を実施例1と同様な方法で粗粉碎、微※

※粉碎、焼結、熱処理した。得られた結果を表2、表3、表4に示す。これらの結果からCoの添加量xは0.7以下で適当であることがわかる。

【0017】

【表2】

Nd (Fe_{0.9-x} Co_x B_{0.07} Ga_{0.03})_{0.5} 磁石の磁気特性

x	0	0.01	0.05	0.25	0.39	0.7	0.75
磁気特性							
4πIr (KG)	12.6	12.58	12.55	12.09	12.02	10.7	9.2
iHc (KOe)	20.6	19.9	19.6	16.5	14.8	12.3	11.0
(BH) _{max} (MGOe)	37.0	36.6	36.2	33.2	32.8	26.6	19.2

【0018】

【表3】

Nd (Fe_{0.93-x} Co_x B_{0.07})_{0.5} 磁石の磁気特性 (比較例)

x	0	0.01	0.05	0.25
磁気特性				
4πIr (KG)	13.4	13.32	13.32	12.88
iHc (KOe)	9.0	8.8	8.8	7.1
(BH) _{max} (MGOe)	42.1	41.5	41.5	38.8

【0019】

【表4】

Nd_{0.9} Dy_{0.1} (Fe_{0.93-x} Co_x B_{0.07})_{0.5} 磁石の磁気特性 (比較例)

x	0	0.01	0.05	0.25
磁気特性				
4πIr (KG)	12.62	12.59	12.51	12.11
iHc (KOe)	15.6	15.4	15.0	11.6
(BH) _{max} (MGOe)	38.2	37.9	37.5	34.3

【0020】次に、Co量が0および0.2の場合における試料を所定温度に30分間加熱保持後、open fluxの変化を測定し、熱安定性を調べた。測定に用いた試料はパーミアンス係数 $\mu_c = -2$ となる形状に加工したものである。得られた結果を図1、図2に示す。明らかにGaを加えると保磁力が高く熱安定性は非常に改善される。

【0021】(実施例3) Nd (Fe_{0.7}Co_{0.2}B_{0.08}Ga_{0.02})_A (A=3.7~7.7)、Nd (Fe_{0.92}B_{0.08})_A (A=5.6~6.6) なる組成の合金を実施例1と同様な方法で粗粉碎、微粉碎、焼結、熱処理した。10 得られた結果を表5(a)、表5(b)に示す。Nd*

*Fe-B3元系の場合、A=6.2以上においてはIHc、(BH)_{max}はほとんどゼロであるのに対し、Co、Gaを複合添加することにより、A=6.6以上でも高保磁力が得られ、高特性が得られる。Nd-Fe-B3元系は、A=6.2以上においてはNdの酸化により焼結過程で液相として働くNdリッチ相が減少することが原因となつて、保磁力の発生を妨げている。これに対し、Co、Ga複合添加の場合、Gaが酸化したNdの代りに液相として働き、高保磁力を発生させている。

【0022】

【表5】

(a) Nd (Fe_{0.7}Co_{0.2}B_{0.08}Ga_{0.02})_A 磁石の磁気特性

磁気特性 \ A	3.7	4.0	5.6	6.6	7.5	7.7
$4\pi I_r$ (KG)	9.2	10.4	12.25	12.7	13.8	14.0
rH_c (KOe)	17.5	17.3	15.4	12.0	10.7	5.9
(BH) _{max} (MGOe)	19.2	25.0	35.8	37.1	45.6	15.8

(b) Nd (Fe_{0.92}B_{0.08})_A 磁石の磁気特性 (比較例)

磁気特性 \ A	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6
$4\pi I_r$ (KG)	13.04	13.2	13.4	13.6	13.7	13.8
rH_c (KOe)	10.0	9.3	9.0	0	0	0
(BH) _{max} (MGOe)	40.2	41.3	42.6	0	0	0

【0023】(実施例4) (Nd_{0.8}Dy_{0.2}) (Fe_{0.86-z}Co_{0.06}B_{0.08}Ga_z)_{5.5} (z=0~0.18) なる合金を実施例1と同様な方法で溶解、粉碎、成形、焼結した。さらに、900℃×2時間の加熱保持後、1.5℃/minで常温まで冷却した後、580℃×1時間の時効処理をAr気流中で行い水中で冷却した。得られた磁気特性を表6に示し、220℃加熱による不可逆減磁率を表7に示す。Ga

※Hcは大幅に上昇し、耐熱性も向上していることがわかる。Gaの添加量zは0.001で効果が認められ、0.15を越えると $4\pi I_r$ が顕著に減少するので0<z≤0.15が好ましく、0.001≤z≤0.15とするのがより好ましく、0.002≤z≤0.10とするのがさらに好ましく、0.005≤z≤0.05とすることが特に好ましい。

【0024】

【表6】

z	$4\pi I_r$ (G)	rH_c (Oe)	rH_c (Oe)	(BH) _{max} (MGOe)
0	11050	10700	22500	29.5
0.001	11000	10650	23200	29.6
0.002	10900	10600	23500	28.8
0.005	10740	10400	25200	27.9
0.01	10600	10200	26500	27.2
0.05	9400	9600	27200	20.1
0.10	8900	8600	> 28000	18.9
0.15	8000	7800	> 28000	15.3
0.18	7200	7600	> 28000	11.0

【0025】

【表7】

9

10

$$(Nd_{0.9} Dy_{0.1}) (Fe_{0.845-z} Co_{0.06} B_{0.08} Ga_z)_{5.5}$$

z	220℃加熱による不可逆減磁率(%, $P_c = -2$)
0	10.1
0.001	9.3
0.002	7.5
0.005	5.1
0.01	2.7
0.05	1.9
0.10	0.3
0.15	0.1
0.18	0.1

【0026】(実施例5) $(Nd_{0.9} Dy_{0.1}) (Fe_{0.845-z} Co_{0.06} B_{0.08} Nb_{0.015} Ga_z)_{5.5}$ ($z=0 \sim 0.06$) なる合金を実施例1と同様な方法で溶解、粉碎、成形、焼結、熱処理した。得られた磁気特性を表8に示し、220℃加熱による不可逆減磁率を表9に示す。Dy置換量の少ない場合においてもGaの添加により熱安定性は向上することがわかる。また、Gaの添加量は0.001で効果が認められ、0.15を越えると $4\pi I_r$ が著しく*

*減少することがわかる。従って、Gaの添加量 z は $0 < z \leq 0.15$ が好ましく、 $0.001 \leq z \leq 0.15$ とするのがより好ましく、 $0.002 \leq z \leq 0.10$ とするのがさらに好ましく、 $0.005 \leq z \leq 0.05$ とすることが特に好ましいことがわかる。

【0027】

【表8】

$$(Nd_{0.9} Dy_{0.1}) (Fe_{0.845-z} Co_{0.06} B_{0.08} Nb_{0.015} Ga_z)_{5.5}$$

z	$4\pi I_r$ (G)	B_{Hc} (Oe)	I_{Hc} (Oe)	$(BH)_{max}$ (MGOe)
0	11850	11550	15200	34.1
0.001	11800	15200	16700	33.8
0.002	11670	11440	17400	32.4
0.005	11580	11280	18760	32.0
0.01	11400	11000	19800	31.6
0.05	10550	10100	> 28000	26.9
0.10	10000	9880	> 28000	25.2
0.15	8550	8320	> 28000	22.4
0.18	7560	7240	> 28000	20.8

【0028】

【表9】

$$(Nd_{0.9} Dy_{0.1}) (Fe_{0.845-z} Co_{0.06} B_{0.08} Nb_{0.015} Ga_z)_{5.5}$$

z	220℃加熱による不可逆減磁率(%, $P_c = -2$)
0	38.1
0.001	34.4
0.002	32.6
0.005	29.7
0.01	20.3
0.05	0.7
0.10	0.6
0.15	0.6
0.18	0.5

【0029】

【発明の効果】以上、実施例に示したように、従来のR-Fe-B系焼結磁石においては含有される希土類元素Rの酸化により焼結過程で液相として働くRリッチ相が減少することが原因となって有効な未酸化の含有R分が不足した状態で焼結されるために保磁力が著しく減少するのに対し、本発明磁石においては焼結過程において未酸化の有効な含有R分の不足を補うように含有されてい

るGaが液相として存在し焼結が進行するために極めて高い I_{Hc} を発現し際立って良好な熱安定を獲得することができる。

【図面の簡単な説明】

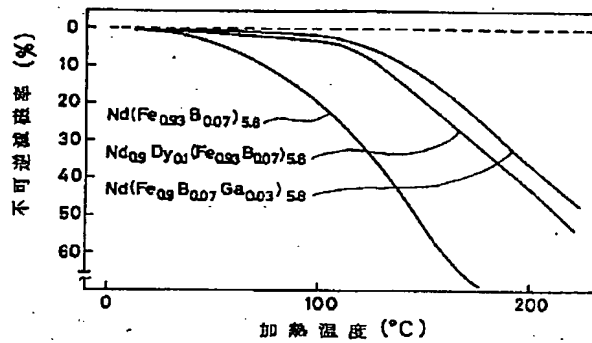
【図1】Nd-Fe-B、Nd-Dy-Fe-BおよびNd-Fe-B-Ga磁石の加熱温度に対する不可逆減磁率を示す図である。

【図2】Nd-Fe-Co-B、Nd-Dy-Fe-C

11

o-BおよびNd-Fe-Co-B-Ga 磁石の加熱温

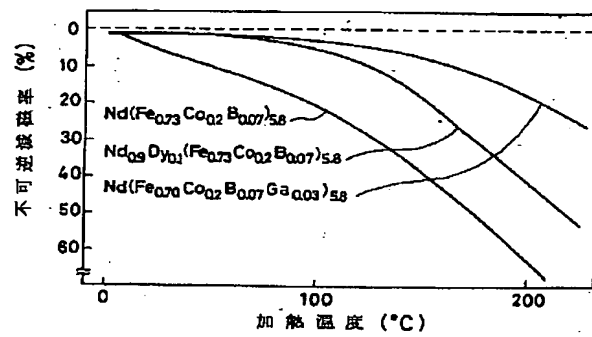
【図 1】



12

度に対する不可逆減磁率を示す図である。

【図 2】



THIS PAGE BLANK (USPTO)